

## EL ACUEDUCTO DE CÁDIZ

- **La ciudad**

La ciudad de Cádiz y su área de influencia, fue una de las pocas zonas del territorio de Hispania, que Roma se encontró plenamente “civilizadas” en el momento de la conquista.

Ciudad comercial pujante desde muchísimo tiempo antes de la llegada de Roma, no es de extrañar que siendo expugnada por Escipión el Africano en los años posteriores a la Segunda Guerra Púnica, mantuviera su importancia comercial, y adquiriese enseguida el estatuto de ciudad federada.

El proceso de “integración” de la población gaditana al modo de vida romano, lo atestigua perfectamente el caso de Lucio Cornelio Balbo, que llegó a ser el primer extranjero que sin tener la ciudadanía romana en el nacimiento, (la adquirió en el año 76 a.C.) llegó a ser cónsul en Roma, en el año 40 a.C. Sin duda contribuyó a ello el hecho de ser el hombre de confianza de Cayo Julio César.

Esto sin duda es un caso notable y diferente al de los emperadores Trajano y Adriano, que si bien llegaron a un cargo más alto, eran ciudadanos romanos de nacimiento, teniendo sus familias un origen romano.

La extensión y mejora de las comunicaciones terrestres de la ciudad de Cádiz con el interior peninsular, así como su privilegiada posición, como nexo de unión de todo el tráfico marítimo y comercial del extremo occidental del Mediterráneo, con el Norte de África y con el comercio atlántico, hizo que la población aumentara lo suficiente como para hacer necesaria la construcción de un acueducto que suministrase agua a esta población en constante aumento. Es posible que tampoco resultase ajena a esta necesidad el deseo de la muy influyente familia de los Balbos, de realizar un monumento que perpetuase su memoria, muy en consonancia con el espíritu republicano de realizar una importante obra pública como forma de adquirir por un lado el agradecimiento de sus conciudadanos, y por otro fama y prestigio. (tradicionalmente se ha venido adjudicando el acueducto a la iniciativa de Lucio Cornelio Balbo “el menor”, hijo del anterior, y también un personaje importante dentro de la política romana) (**Roldán Gómez. L. Técnicas arquitectónicas en la Bética Romana**)

En tiempos de Felipe II, y habida cuenta de la importancia que empezó a tener de nuevo la ciudad a raíz del tráfico naval con las Indias, parece ser que se intentó poner de nuevo en funcionamiento, aunque sin éxito.

- **El acueducto. Descripción de los restos**

Los primeros rastros se encuentran en las fuentes del Tempul, en los mismos manantiales de donde en la actualidad, se abastece la localidad de Jerez de La Frontera.

- Tramo del Tempul

En esta zona se ha encontrado un canal enterrado y abovedado realizado en *Opus caementiciun*.

La técnica empleada es semejante a la que se usó en el acueducto de Córdoba, es decir, primero se hormigonaron las paredes y posteriormente la bóveda. El interior del canal iba recubierto con una capa de *opus signinum*, con refuerzo en las esquinas.

En esta zona se han encontrado dos respiraderos con el bocal de caliza ostionera, y ladrillos en el interior.

Este tipo de piedra, una caliza fosilífera, es muy abundante en la costa de Cádiz. Los romanos aprovecharon su impermeabilidad y su relativa facilidad de labra para realizar múltiples trabajos de cantería. (**Roldán Gómez. L. Op.Cit.**)

- Tramo de *Los Giletes*- cortijo de *Las Piletas*

En este tramo han aparecido restos de arquerías. Además han aparecido dos bloques de piedra ostionera perforados, y con un resalte para ser machihembrados. No podemos saber si las piedras perforadas encontradas iban sobre los arcos o no. (**Roldán Gómez. L. Op.Cit.**)

- Tramo de *Los Arquillos*

Desde el lugar conocido como *Los Arquillos*, hasta el llamado Arroyo Salado de Paterna, el canal mantiene una pendiente constante, por lo que los restos de piedra ostionera perforadas que se han encontrado por la zona constituían el *venter* de un sifón. Los arcos estaban realizados con dovelas de piedra. (**Roldán Gómez. L. Op.Cit.**)

- Tramo del *Arroyo Salado de Paterna*

Hay restos del canal con paramentos de *opus incertum*, y en su interior *opus caementicium*. Las esquinas aparecen reforzadas con sillares. (**Roldán Gómez. L. Op.Cit.**)

### □ Tramo de “restos dispersos”

En esta parte, todos los restos están confeccionados con *opus caementicium*, aunque con el paramento externo más cuidado.

En la parte superior, hay intercalados ladrillos. En algunas partes hay restos de piedras perforadas, pero estas no de ostionera, sino de caliza.

Los ladrillos están intercalados con el hormigón en hiladas de cuatro ladrillos, además, constituyen la rosca del arco.

(**Roldán Gómez. L.** *Op.Cit.*)

### □ Tramo del cortijo de *Las Piletas*

En este lugar, además de un trozo de muro, aparecen piedras perforadas de la conducción. El tramo de tubería corre paralelo al muro en su cara norte. (**Roldán Gómez. L.** *Op.Cit.*)

### □ Tramo de la playa

Finalmente han aparecido y siguen apareciendo, abundantes restos de piedra ostionera perforada en la zona costera de playa próxima a Cádiz, en la zona del Oeste, así como en el Km 476 de la carretera N IV. (**Baena. J, Blasco. C, Quesada F.** *Los S.I.G. y el análisis espacial en arqueología*)

Los depósitos terminales estaban visibles, al menos hasta la Edad Moderna, en la zona conocida como *Puerta de Tierra*. (**Roldán Gómez. L.** *Op.Cit.*). Estos depósitos, que cumplían al mismo tiempo la función de cisternas de decantación, eran 7, cada uno de 200 pies de largo y 70 de ancho. (**Fernández Casado C.** *Acueductos romanos en España.*)

## • El acueducto. Generalidades

El acueducto de Cádiz, pese a ser uno de los más singulares de los que los romanos hicieron en *Hispania*, y desde luego el más largo, al menos de los que están documentados, no ha tenido la suficiente atención por parte de muchos especialistas. Son contadas las publicaciones (descontando artículos publicados en el periódico local *Diario de Cádiz*) que de él se ocupan. Quizás la excepción sea el excelente y muy completo trabajo de D<sup>a</sup> Lourdes Roldán Gómez *Técnicas arquitectónicas en la Bética Romana*. Es por ello que gran parte de los datos obtenidos procedan de esta publicación.

La gran longitud de su trazado (algo más de 60 Km.) y su inutilidad desde hace siglos, ha hecho que los restos actuales sean muy escasos, perdiéndose su rastro en muchos tramos.

Como podemos ver por los restos conservados, si hay algo que los caracteriza, es su heterogeneidad. Además de una notable dispersión de los mismos, pues gran parte de ellos transcurren por zonas de cultivo, con la consiguiente pérdida y destrucción, sobre todo últimamente, con las modernas máquinas de trabajo agrícola.

Esta falta de uniformidad en los restos puede deberse, tanto a una diferente forma de acometer en su día las diferentes partes de la obra, a reparaciones habidas en diferentes momentos, así como a un intento posterior, ya en la Edad Moderna de volver a hacerlo funcionar.

Una de las características de este acueducto, que lo hacen único en Hispania, es el de constar con unos largos tramos de sifón hechos con piedra perforada en lugar de el clásico plomo o los tubos cerámicos.

No sabemos porqué emplearon principalmente piedra ostionera para hacer los diferentes tramos del sifón, en lugar de la aparentemente más sencilla tubería de cerámica (en este sifón, las presiones que deberían soportar las tuberías no serían demasiado elevadas, por lo que las tuberías cerámicas podrían resistir adecuadamente). Esto nos hace pensar que tal vez los romanos (o quizás antes de ellos, los canteros de la zona) desarrollaron un método fácil y rápido de perforar la roca fosilífera, lo que unido a la abundancia de la misma en las inmediaciones de la ciudad de Cádiz, hacía a este material perfectamente adecuado para este cometido.

Los tamaños de estas rocas no son homogéneos. Tienen entre 0,75 y 0,80 m. de ancho, entre 0,75 y 0,85 m. de alto y 0,5 m. o menos de largo.

Por los restos encontrados, estas piedras iban perforadas con un agujero de unos 35 cm. de diámetro. El interior va revocado con una capa de argamasa y mucha cal, de 2 cm. y finalmente un revoco de unos 2 cm. de mortero hidráulico. El resultado final sería un diámetro de 26 cm. (**Roldán Gómez. L. Op.Cit.**)

Estas piedras tenían un sistema de machihembrado, de manera que el saliente de una se encajaba en una hendidura de la siguiente.

Para facilitar la estanqueidad de estas uniones se colocaban unos pequeños guijarros alargados y en espiga en el fondo de las hendiduras de las piedras. De esta manera, las posibles fugas de agua se verían dificultadas por estas pequeñas piedras.

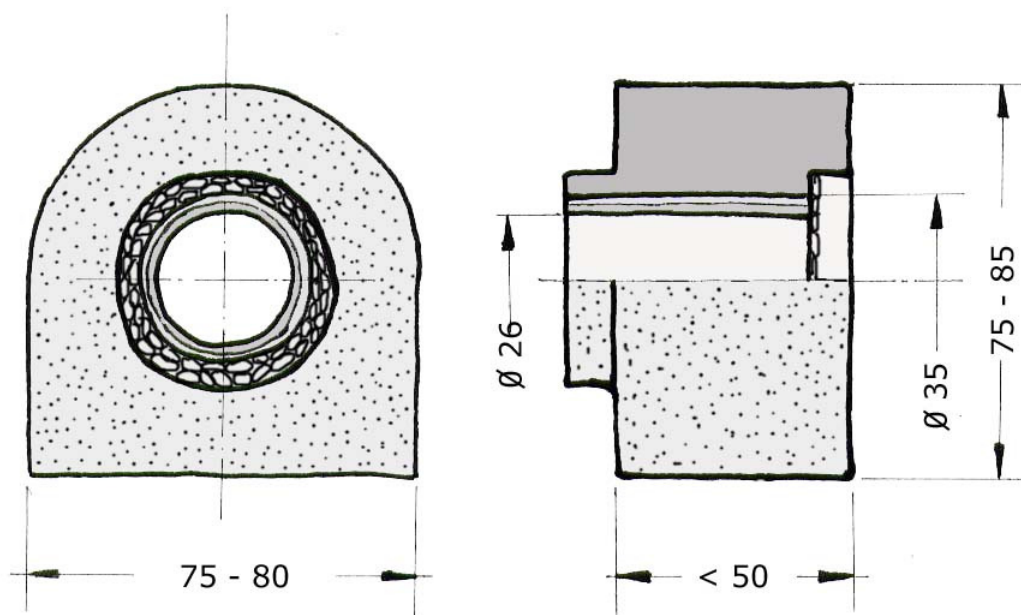
Se ha especulado mucho con las formas de estas tuberías de piedra en Hispania, concretamente en Cádiz, justamente al otro extremo del Mediterráneo del otro lugar donde hay restos de unas tuberías casi idénticas, en el gran sifón del acueducto de Patara (Turquía).

## Acueductos romanos de Hispania

No sería descabellado pensar que efectivamente pudo haber un influjo de la técnica de un lugar en el otro, si tenemos en cuenta el carácter eminentemente marítimo y comercial que tenía la ciudad de Cádiz en aquellos tiempos, donde las noticias y las gentes confluían desde lugares muy remotos.

Sin embargo, también es posible que sean elementos independientes. A fin de cuentas, el sistema de machihembrado era conocido y empleado por los carpinteros desde mucho tiempo atrás, y a fin de cuentas, lo que se hizo en Patara y en Cádiz no fue sino hacer en piedra lo que en un tamaño menor ya se venía haciendo en madera para diversos usos.

Una representación, con las cotas en centímetros de estos elementos es la siguiente:

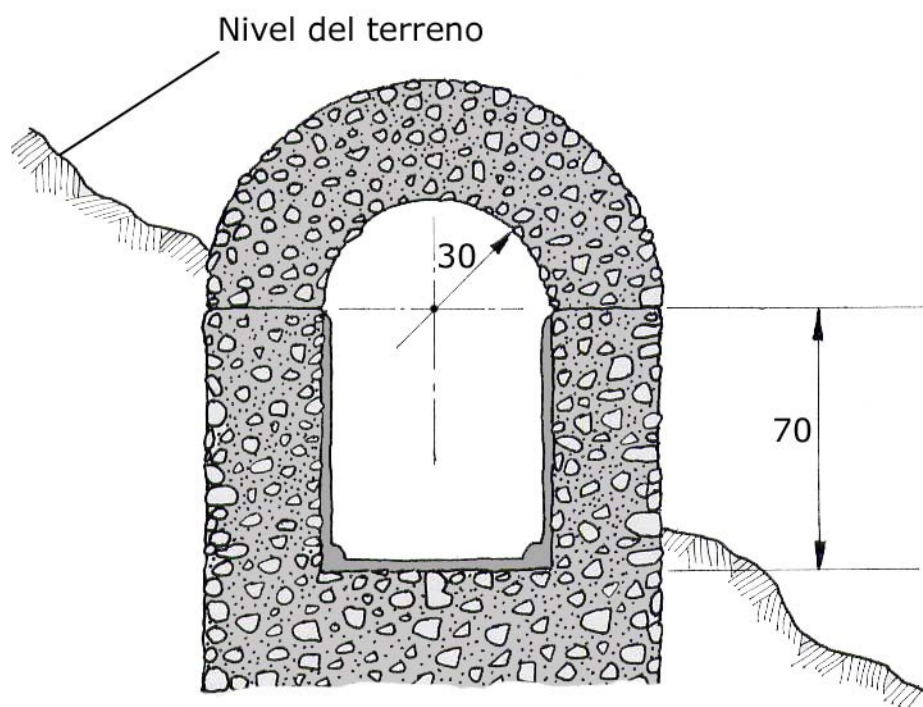


### • Cálculo del caudal

La escasez de restos, hace que el intento de cálculo del caudal sea una cuestión ardua, y más si tenemos en cuenta que en el tramo final, el que debería ser más significativo, al tratarse de un sifón, desconocemos la cota de ubicación del depósito de cabecera, admitiendo conocida la cota de los depósitos de *Puerta de Tierra*.

El venter de este sifón iría paralelo a la costa y muy cerca de ella, pero no sabemos si había una sola fila de piedras perforadas o había varias en paralelo

Por todo ello, para hacer una estimación del caudal, tendremos en cuenta los restos del tramo del Cortijo de *Fuente Imbro*. Este es un tramo semienterrado que se encuentra cerca de la cabecera del Tempul.



## Acueductos romanos de Hispania

A diferencia del tramo más próximo a la cabecera, un túnel practicable, lógicamente sobredimensionado para el paso de los encargados del mantenimiento, este tramo de *Fuente Imbro*, es lo suficientemente pequeño como para impedir el acceso humano. Por otro lado, los restos de *Opus Signinum* alcanzan una altura de 70 cm justo hasta el inicio de la bóveda.

Tomaremos este calado como el máximo.

Por otro lado, tenemos el dato de la pendiente media del acueducto. Este salva un desnivel de 125 m en 60 Km. La pendiente media es por lo tanto del 0,2%. (*Baena. J, Blasco. C, Quesada F. Op.Cit.*)

No sabemos donde estaba la arqueta de entrada del último sifón, por lo que no podemos hacer un cálculo demasiado preciso del caudal. Es por ello que supondremos que toda el agua que circulaba por el tramo de *Fuente Imbro* accedía al sifón sin pérdidas.

Es evidente que es una suposición un tanto aventurada, pero como una primera aproximación es válida.

Los calados de cálculo serán:

Calado Máximo.....	70 cm
Calado Medio.....	35 cm
Calado Óptimo.....	30 cm

Con estos datos, podemos ya confeccionar la tabla de caudales.

n		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /día	Litros/s	Quinarias
0,017	Q. Máximo	0,393	33.955,2	393	848,88
	Q. Medio	0,165	14.256,0	165	356,40
	Q. Óptimo	0,135	11.664,0	135	291,60
0,02	Q. Máximo	0,334	28.857,4	334	721,44
	Q. Medio	0,140	12.096,0	140	302,40
	Q. Óptimo	0,114	9.849,6	114	246,24

Es evidente que unas cantidades como estas resultan excesivas para una población como la que se estima que tendría Cádiz, por lo que debemos hacer algunas correcciones:

1. Los caudales están calculados en uno de los primeros tramos, donde generalmente los ingenieros romanos diseñaban los canales con menos pendiente, siendo por lo tanto la pendiente media mayor que la que realmente tendría el acueducto en ese tramo, por lo que los caudales serían menores.
2. Las fugas y pérdidas de agua que habría hasta la llegada al último sifón, el correspondiente a la zona de la playa, harían disminuir el caudal efectivo.
3. El mismo sistema de concepción del sifón, haría que este debiere estar permanentemente en carga, por lo que la cantidad de agua que llegaría a la arqueta de cabecera debería ser en todo momento muy superior a la capacidad portante del propio sifón.

La pregunta que se nos plantea es por tanto, cuál era la capacidad del propio sifón.

Para tratar de resolver esto, debemos conocer cuales eran la cotas de las arquetas de cabecera y final del sifón.

La arqueta final, estaba presumiblemente en el lugar conocido en la actualidad como *Puerta de Tierra* (**Roldán Gómez. L. Op.Cit.**)

La cota actual de este lugar, resulta superior a la que había en la época de construcción del acueducto, que podemos fijar en torno a 5 m.

En cuanto a la arqueta de cabecera, resulta más difícil de ubicar, habida cuenta de que no quedan restos de la misma. Por tanto, su localización ha de ser fruto de la especulación.

Según el esquema planteado por J. Baena, el acueducto, antes de dirigirse al borde del mar, en las cercanías del lugar conocido como *Punta de las piedras*, debía pasar por una cota de unos 50 m. (**Baena. J, Blasco. C, Quesada F. Op.Cit.**)

Será pues esta la cota a la que supondremos la arqueta de cabecera.

Según este mismo planteamiento, la longitud del sifón como tal era de unos 12 Km, lo que lo convertiría en uno de los más largos nunca planificados por los ingenieros romanos.

## Acueductos romanos de Hispania

Partiendo de la fórmula de Mougny para el cálculo de la velocidad del fluido, tenemos que:

$$v = 1.5 \cdot \sqrt{D \cdot 0,05} = 0,835 \text{ m/s}$$

Con esta velocidad de partida, tenemos un número de Reynolds de 214.590, con lo que en el diagrama de Moody, obtenemos un coeficiente de fricción de 0,027, correspondiente a una zona de movimiento turbulento, lo que nos da un caudal  $Q = 0,045 \text{ m}^3/\text{s}$

Ahora volvemos a calcular la velocidad, partiendo de la fórmula del gasto, obteniendo una velocidad del fluido  $V = 0,848 \text{ m/s}$

Vemos que esta nueva velocidad es sensiblemente parecida a la anteriormente obtenida, por lo que si calculamos un nuevo número de Reynolds, y lo introducimos en el diagrama de Moody, obtenemos un caudal semejante. El proceso iterativo no va más allá de la primera iteración.

Tendremos, por lo tanto, un caudal de partida de  $0,045 \text{ m}^3/\text{s}$  para el final del acueducto de Cádiz, lo que suponen 45 litros por segundo, o 97,2 quinarias.

Si observamos la tabla anterior, vemos que estas 97,2 quinarias suponen un fracción muy pequeña de la cantidad de agua que llegaba a la arqueta de cabecera del sifón. (Concretamente, entre aproximadamente un 89% y un 61% menos).

La explicación que esta diferencia de caudales puede tener debe considerar varios puntos:

- La arqueta de cabecera debía estar permanentemente en carga, por lo que el caudal debía ser siempre bastante mayor del necesario.
- El lugar donde está hecho el cálculo está relativamente próximo a la cabecera del acueducto, por lo que no se consideran las pérdidas de caudal por filtraciones, grietas, etc. en el recorrido hasta llegar al inicio del sifón.
- El posible uso para regadío del *aqua caduca* del acueducto, si tenemos en cuenta que en las proximidades de la ciudad, debido al carácter salobre del subsuelo, no sería viable el cultivo, por lo que este agua dulce, traída de los veneros del Tempul, tendría un enorme valor como agua de regadío.

- **La población**

El problema que se nos plantea, en este caso, es como siempre, el de que no sabemos cual era la distribución real del agua que llegaba a la ciudad, ni tampoco cual era el porcentaje de agua sobre el total que aportaba el acueducto, pues evidentemente, antes de la construcción del mismo, el abastecimiento de agua a la ciudad debía estar asegurado, en cantidades no pequeñas, pues de lo contrario, no hubiese sido viable durante tanto tiempo. Por otro lado, y debido a la limitaciones de espacio que la ciudad tenía, la cantidad proporcional de agua destinada a espectáculos y termas debía ser algo menor que la empleada en Roma. Supondremos que fuese un 20% inferior, lo que nos daría un 17,72 % de agua destinada a beber para Cádiz.

Para estimar la población, supondremos en principio, pues no tenemos otros elementos, que el agua que entraba a través del acueducto fuese un 25% del agua necesaria para el abastecimiento de la población, entendiendo este abastecimiento, exclusivamente como agua de beber, y no considerando el agua que se emplearía en los usos ornamentales y en los baños, pues con toda seguridad, uno de los fines del acueducto sería suministrar agua a los servicios públicos. (fuentes, termas....)

Con estas premisas tenemos lo siguiente:

- Caudal = 45 litros/s

Lo que implica 3.888.000 litros/día

Si suponemos que, un 17,72 se empleaba para el abastecimiento de la población, tendremos que para beber, entraban en la ciudad 689.109 litros diarios.

Con un consumo por habitante estimado en 60 litros por día, tenemos que se podría abastecer una población de 11.485 habitantes.

Pero si suponemos que, como hemos mencionado, esto supusiera únicamente la cuarta parte del agua que se bebía en la ciudad, tendremos un total de 45.940 habitantes para la ciudad de Cádiz.

Esto supone apenas 4.059 habitantes menos de lo que estima García y Bellido para Cádiz por las fechas en que hemos supuesto que se levantaría el acueducto (*Roldán Gómez. L. Op.Cit.*) por lo que como aproximación de los habitantes de la ciudad, podemos considerarla como suficientemente válida.